Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 16, No. 1, June 2025, pp. 95-115

Original Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.90074.1100

Evaluation the Effect of Seed Priming with Zinc Sulfate on Photosynthesis and Yield Components, of Two Varieties of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under Water Deficit Stress

Sara Raisi Bidkani[1], Mohammad Javad Zarea[1]*

Received: 02-10-2024
Revised: 25-11-2024
Accepted: 10-12-2024
Available Online: 10-12-2024

Cite this article:
Raisi Bidkani S., & Zarea, M. J. (2025). Evaluation the effect of seed priming with zinc sulfate on photosynthesis and yield components, of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, *16*(1), 95-115. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.90074.1100

Introduction
Cowpea is among the most important plants of the legume family, being a good source of protein, fiber, and essential nutrients. Cowpeas are also cost-effective and have high nutritional value. It has been shown that priming seeds with zinc can improve seedling vigor, growth, and overall plant performance. Priming seeds with $ZnSO_4$ has been found to increase plant tolerance to environmental stress such as drought and water deficiency. Overall, it has been well-documented that priming seeds with zinc can be a promising practice for improving crop productivity under environmental stresses. Considering the simplicity of this technique and the widespread use of priming seeds with nutrients, this experiment was conducted to investigate the effect of priming seeds with zinc sulfate on some physiological traits, improvement in drought tolerance, and seed yield of two cowpea varieties.

Materials and Methods
The present study was conducted to investigate the effect of seed priming with zinc sulfate on the plant growth and yield performance of two different varieties of cowpea (Vigna unguiculata L.) under two different soil water content conditions. The experiment was carried out as a pot experiment in 2022 at the greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ilam University. Treatments were replicated four times. The three main factors included the irrigation level (irrigation at 70% or 50% of the field capacity), the cowpea genotype (local and Mashhad), and the priming of seeds with zinc sulfate (hydropriming, prime level 1, prime level 2). Seeds were primed in either 0.14% or 0.28% zinc solution. $ZnSO_4.7H_2O$ was used as the source of zinc. After surface sterilization, seeds were soaked in a solution with different concentrations of zinc sulfate (0.14% or 0.28%) for 5 hours at a ratio of 1:3 distilled seed to solution ($w.v^{-1}$). 20 seeds were planted in each pot. Plants at the 4-5 leaf stage were subjected to well-watered and water-stressed conditions. At the 50% flowering stage, leaf samples were randomly taken from 5 plants in each pot, and various plant growth and physiological characteristics such as fresh and dry weight, plant height, leaf surface area and weight, as well as the rates of photosynthesis and transpiration, leaf relative humidity, and leakage rate were measured.

Results and Discussion
The results of the analysis of variance of the present study showed that the effect of water deficiency on some growth, physiological and biochemical traits such as leaf area and weight, photosynthesis rate, transpiration intensity, electrolyte leakage, water ratio per thousand seed weight, and harvest index was significant. Treatments affected by seed priming with zinc showed better growth performance under stress conditions than control treatments (no priming). Additionally, the effect of the variety on traits such as photosynthesis rate, and harvest index was significant. The highest leaf weight (7.10 g) was observed in the irrigation treatment with 70% of field capacity (FC), Mashhad variety, and prime level 2, while the lowest leaf weight (2.11 g) was recorded in the irrigation treatment with 50% of crop capacity, local variety, and hydropriming. The Mashhad cultivar exhibited a higher photosynthesis rate (4.99 µMol $CO_2.m^{-2}.S^{-1}$) than the local cultivar (4.65 µMol$CO_2.m^{-2}.S^{-1}$). The application of 70% FC led to a two-fold increase in the rate of photosynthesis (6.07 µMol $CO_2.m^{-2}.S^{-1}$) compared to irrigation with 50% of FC (3.56 µMol $CO_2.m^{-2}.S^{-1}$). The highest and lowest transpiration rates were observed under the conditions of no stress in the Mashhad cultivar (160.1 mmol $H_2O.m^{-2}.S^{-1}$) and under the

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
* Corresponding Author: mj.zarea@ilam.ac.ir

conditions of stress in the local cultivar (0.72 mmol $H_2O.m^{-2}.S^{-1}$), respectively. Under low irrigation, the lowest (46%) and highest (49%) percentage of electrolyte leakage were obtained in priming level 2 and hydropriming, respectively. Regarding the traits related to yield, the highest number of pods per plant (8.22) was obtained in the Mashhad variety under well-irrigation conditions (70% FC), and the lowest amount (5.56) was obtained in the local variety with 50% FC. Under well-watered conditions (70% FC), the Mashhad variety had an 18% superiority in the number of seeds per plant compared to the local variety. The highest amount of seed yield in the pot was obtained under well-watered conditions and priming with 0.28% zinc solution resulting in a 28% increase compared to 50% FC and hydroprime. The use of the Mashhad cultivar under well-watered conditions led to the production of the highest harvest index (53.85%), while applying water deficit reduced the harvest index to 39.71%.

Conclusions
Drought stress and water deficiency are the most significant constraints contributing to reduced bean yields in arid and semi-arid regions. The findings of the present study indicate that water deficit stress can significantly decline plant yield, but seed priming with zinc could mitigate the negative effects of water stress, particularly on the plant's physiological traits. Priming seeds with zinc resulted in improved photosynthesis and subsequently increased seed yield compared to control seeds

Keywords: Electrolyte leakage, Harvest index, Micronutrients, Transpiration

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۶، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۴، ص. ۱۱۵-۹۵

نوع مقاله: پژوهشی
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.90074.1100

بررسی اثر پرایم بذر با سولفات‌روی، بر فتوسنتز و اجزای عملکرد دو رقم لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تنش کم‌آبی

سارا رئیسی بیدکانی[1]، محمد جواد زارع[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

چکیده

کمبود آب از عامل مهم محدودکننده تولید لوبیا می‌باشد، پرایم بذر با برخی عناصر ریزمغذی از جمله روی می‌تواند تا حدودی اثرات منفی کم‌آبی را تعدیل نماید. در همین راستا، به‌منظور بررسی تأثیر پرایم بذر با سولفات‌روی بر دو رقم لوبیا چشم‌بلبلی تحت شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. فاکتور اول میزان آبیاری (آبیاری در ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، فاکتور دوم رقم (محلی، مشهد) و فاکتور سوم پرایمینگ بذر با سولفات‌روی (پرایم با محلول ۰/۱۴ درصد سولفات‌روی (سطح ۱)، پرایم با محلول ۰/۲۸ درصد سولفات‌روی (سطح ۲) و شاهد) بود. نتایج نشان داد که سرعت فتوسنتز گیاهانی که تحت آبیاری مطلوب قرار گرفته‌بودند در مقایسه با گیاهان در معرض کم‌آبی ۷۰ درصد افزایش یافت، که به تبع آن، شاخص برداشت نیز افزایش ۳۵ درصدی نشان داد. همچنین عملکرد دانه در گلدان، در شرایط تنش در رقم مشهد دارای برتری ۳۰/۳۱ درصدی نسبت به رقم محلی بود. میزان نشت الکترولیت در پرایم سطح ۲ و عدم تنش نسبت به شاهد (تنش و عدم پرایم با سولفات‌روی) کاهش ۵۳ درصدی نشان‌داد. براساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که پرایمینگ بذر علاوه‌بر افزایش در عملکرد لوبیا، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش اثرات منفی کمبود آب ایفا کند.

واژه‌های کلیدی: تعرق، شاخص برداشت، عناصر ریزمغذی، نشت الکترولیت

مقدمه

حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین بعد از غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار می‌روند، حبوبات از منابع مهم پروتئین، فیبر و مواد مغذی هستند و نقش مهمی در رژیم غذایی انسان به‌ویژه در بسیاری از کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کنند (Rezaei et al., 2022).بسیاری از افراد در اکثر کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران از حبوباتی نظیر نخود (*Cicer arietinum*)، عدس (*Lens culinaris*) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) پروتئین مورد نیاز خود را تأمین می‌کنند (Kakaei, 2024). دانه‌های لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) دارای ۲۰ تا ۲۵ درصد و گاهی تا ۳۵ درصد پروتئین هستند (Makkizadeh et al., 2008) پروتئین این گیاه دارای اسیدآمینه لیزین فراوان است و می‌توان آن را به محصولات غذایی که بر پایه غلات تولید می‌شوند و دچار کمبود لیزین هستند، اضافه کرد تا بر کیفیت غذایی آن‌ها افزوده شود (Frota et al., 2017). لوبیا چشم‌بلبلی به‌طور وسیعی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری آسیا، آفریقا و آمریکا کشت شده است (Boukar et al., 2019). براساس آمار فائو، آسیا بزرگ‌ترین تولیدکننده حبوبات در جهان است، سطح زیرکشت، میزان تولید و عملکرد لوبیا در جهان به‌ترتیب ۳۰/۶۱ میلیون هکتار، ۲۶/۵۲ میلیون تن و ۸۶۶ کیلوگرم در هکتار و در ایران به‌ترتیب ۱۰۹۲۴۹ هکتار، ۲۰۴۱۹۲ تن و ۱۸۶۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2022).

براساس رویکرد تغییرات آب‌وهوایی فعلی، افزایش دما و تغییر در شدت و نحوه پراکنش بارش منجر به افزایش تنش‌های مرتبط با خشکی و تغییرات دمایی و در نتیجه کاهش رشد و توسعه گیاهان می‌شود (Fracasso et al., 2020). ایران به‌دلیل قرار داشتن در کمربند خشک کره زمین، همواره با تنش‌های آبی مواجه بوده و در دهه‌های آینده، به‌طور متوسط کاهش ۳۵

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: mj.zarea@ilam.ac.ir)

درصدی بارندگی را تجربه خواهد کرد (Mansouri Daneshvar & Ebrahimi, 2019)، تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی در کشور مطرح است و برای حصول عملکرد مناسب، گیاهان زراعی باید قادر به تحمل این دوره خشکی باشند، در حال حاضر نیز تولید حبوبات در کشور بیشتر به‌صورت دیم بوده و تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد حبوبات می‌باشد (Barzegari et al., 2020). با توجه به وسعت نگران‌کننده مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران (۹۰ درصد کل مساحت کشور) و همچنین کاهش دسترسی به منابع، آب، نیاز به تمهیدات مناسبی برای استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی است، استفاده از رژیم‌های کم‌آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مناسب در افزایش سطح زیرکشت و اصلاح الگوی کشت باشد (Amir et al., 2015).

کمبود آب باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد دانه لوبیا می‌شود و مقدار کاهش عملکرد بسته به زمان و شدت تنش و نیز ژنوتیپ متفاوت است (Munoz Perea et al., 2006). فرام و همکاران (Frahm et al., 2004) بیان داشتند که خشکی باعث کاهش عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن دانه لوبیا می‌شود. بررسی واکنش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا به تنش خشکی نشان داده‌است که تنش خشکی باعث کاهش طول دوره رشد زایشی لوبیا می‌شود (Merwad et al., 2018). طبق مطالعات انجام‌گرفته، تنش خشکی عملکرد دانه را ۸۰ درصد، تعداد غلاف در بوته را ۶۰ درصد، تعداد دانه در غلاف را ۲۶ درصد و وزن ۱۰۰ دانه را ۱۳ درصد کاهش داد (Kroner et al., 2017).

تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش بسزایی دارد، که در این میان عنصر روی یکی از عناصر کم‌مصرف و ضروری در تغذیه گیاهی می‌باشد (Prasad, 1984). کمبود روی یکی از عوامل محدودکننده مهم در تولید بسیاری از محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود و حدود ۳۰ درصد خاک‌های جهان با این مشکل مواجه می‌باشند (Tandon, 1996). در ایران کمبود عنصر روی در خاک عمدتاً ناشی از آهکی بودن خاک‌های زراعی، pH بالا، حضور بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری، مصرف فراوان و بیش از اندازه کودهای فسفاته و در نهایت، عدم رواج مصرف کودهای محتوی روی است. بیش از ۶۰ درصد زمین‌های زراعی ایران دارای کمبود روی هستند که این کمبود می‌تواند تا ۵۰ درصد کاهش در تولید محصول را منجر شود (Malakoti & Tehrani, 2000). روی عمدتاً در کانی‌های ZnS و $ZnCO_3$ در خاک یافت می‌شود. مقدار روی در خاک‌های سطحی کمتر از خاک زیرین است، روی قابل جذب خاک به‌صورت محلول و تبادلی یا پیوندیافته با مواد آلی می‌باشد و عوامل متعددی در قابلیت جذب آن دخالت دارند (Cakmak, 2008). در استان ایلام، بلوکه شدن آهن و روی خاک به‌دلیل آهکی بودن و فقر شدید مواد آلی خاک‌ها و همچنین بی‌کربنات زیاد آب‌های موجود است، نتایج آزمایش چراغی تبار روی ۲۰ نمونه از خاک زراعی مناطق مختلف استان ایلام نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه نه‌تنها از لحاظ مقدار روی قابل جذب، بلکه از نظر مقدار کل روی نیز دچار مشکل هستند و ضرورت اقدامات مناسب برای تقویت این خاک‌ها و جلوگیری از کمبود روی در گیاهان در این منطقه حائز اهمیت است (Cheraghi Tabar, 2018). با توجه به حساسیت بالای لوبیا به کمبود روی، نقش این عنصر در رشد گیاه مورد تأکید بوده است (Farooq et al., 2018). هریس و همکاران (Harris et al., 2008) پیشنهاد کردند که پرایمینگ بذور با عناصر غذایی یک روش جدید بوده که علاوه‌بر اثرات مثبت پرایمینگ بر جوانه‌زنی، افزایش سطح عناصر غذایی طی دوره رشد را به همراه دارد. مطالعات زیادی در خصوص تأثیرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پرایمینگ بذر روی دانه‌های مختلف حبوبات از جمله لوبیا چشم بلبلی، نخود و عدس انجام شده و نشان دادند که تیمار پرایمینگ قادر به بهبود فرآیند جوانه‌زنی و ایجاد مقاومت در شرایط تنش است (Posmyk & Janas, 2007). خاک‌های زراعی در ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن، تنش خشکی و پایین بودن مقدار مواد آلی دچار کمبود شدید عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف نظیر روی، آهن، منگنز و بور هستند (Malakoti & Tehrani, 2000). گزارش شده است که پرایم بذر با سولفات روی در گیاهان نخود موجب افزایش کمّی و کیفی محصول شده است (Harris et al., 2008).

به‌طور کلی، با توجه به قلیایی بودن خاک‌های زراعی و کاهش بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که منجر به کاهش فراهمی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌شود، می‌توان با فناوری‌های جدید از جمله پرایمینگ بذر با عناصر کم‌مصرف اعم از روی و سایر عناصر ریزمغذی در حل مشکل کمبود عناصر غذایی در گیاهان به‌خصوص گیاهان خانواده بقولات پیش‌قدم شد. هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر پرایمینگ بذر با محلول حاوی عنصر ریزمغذی روی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی، رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم رایج لوبیا چشم‌بلبلی در استان ایلام تحت شرایط کم‌آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ بذر با سولفات‌روی تحت شرایط اعمال و عدم اعمال کم‌آبیاری روی دو رقم مختلف لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) آزمایشی طی سال زراعی ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی ایلام با میانگین دمای روز و شب به‌ترتیب ۲۷ و ۱۲ درجه سانتی‌گراد، طول دوره روشنایی ۱۰ تا ۱۲ ساعت و رطوبت نسبی حدود ۴۵ تا ۶۰ درصد اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول میزان آبیاری (آبیاری در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) (sabzi & tahmasbi, 2017)، فاکتور دوم رقم (رقم محلی، رقم مشهد) و فاکتور سوم پرایمینگ بذر (پرایم با محلول ۰/۱۴ و ۰/۲۸ درصد سولفات‌روی و شاهد) بود. تیمار هیدروپرایمینگ بذرها به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد، برای تهیه محلول پرایم از سولفات‌روی هفت آبه ($ZnSO_4.7H_2O$) شرکت مرک (آلمان) استفاده شد.

جهت اعمال تیمار کم‌آبیاری، ابتدا ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها تعیین و سپس بر مبنای ظرفیت زراعی خاک، تیمار تنش کم‌آبی اعمال شد. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی، یک کیلوگرم خاک مزرعه (خاک مورد استفاده در آزمایش) در یک گلدان پلاستیکی زهکش‌دار ریخته شد و آبیاری تا حد رطوبت اشباع انجام گرفت و روی گلدان با فویل پوشیده شد. پس از گذشت ۱۲ساعت، نمونه خاک تهیه، توزین و به‌مدت ۱۲ ساعت به آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس منتقل شد. در نهایت، درصد رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه از طریق معادله ۱ تعیین گردید:

$$FC (\%) = (FW-DW)/DW \times 100$$ معادله (۱)

که در آن، FC: ظرفیت زراعی، FW: وزن خاک مرطوب و DWوزن خاک خشک است.

هر ۱۲ ساعت، نمونه‌برداری صورت گرفت تا عدد به‌دست‌آمده از معادله بالا طی دو نمونه‌برداری متوالی ثابت شود. آن عدد به‌عنوان ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد (Gardner, 1968). ظرفیت زراعی در حد ۳۰ درصد بود که برای آبیاری مطلوب، ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و برای تنش، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ملاک آبیاری بود. براساس محاسبات انجام‌شده، وزن هر گلدان برای هر دو تیمار (۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) محاسبه گردید (براساس ظرفیت زراعی و اعمال تیمار کم‌آبیاری، در شرایط شاهد آبیاری با ۱/۵ لیتر آب در شرایط کمبود آب، آبیاری با ۱ لیتر آب انجام شد) و به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدان‌ها استفاده و آبیاری براساس تغییر وزن خاک گلدان‌ها نسبت به‌میزان رطوبت تعیین‌شده انجام گرفت. آبیاری گلدان‌ها برای عدم تنش براساس حفظ ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار تنش خشکی معادل با حفظ ۵۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد.

جهت انجام آزمایش مربوط، گلدان‌ها با استفاده از خاک مزرعه پر شدند، که برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است. بذور لوبیای دو رقم محلی و مشهد از جهاد کشاورزی شهرستان بدره واقع در استان ایلام تهیه شد. رقم مشهد از ارقام پربازده در مناطق نیمه‌خشک با وزن ۱۰۰ دانه ۲۱ گرم و رقم محلی رقم غالب مورد استفاده در استان ایلام به‌ویژه مناطق گرمسیر از جمله دهلران و بدره با وزن ۱۰۰ دانه ۲۰/۶ گرم می‌باشد. قبل از انجام آزمایش، بذرها ابتدا با اتانول ۷۰ درصد به‌مدت یک دقیقه و سپس با محلول هیپوکلریت سدیم سه درصد به‌مدت سه دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شست‌وشو داده شدند (Davoudpour et al., 2020).

به‌منظور پرایم با محلول روی بذرها با نسبت وزنی یک به سه (به‌ازای هر یک گرم بذر سه میلی‌لیتر محلول پرایم) به‌مدت پنج ساعت (براساس زمان‌های به‌دست‌آمده برای اتمام فاز ۲ جوانه‌زنی) در محلول پرایم خیسانده شدند (Harris et al., 2008) و سپس در محیط آزمایشگاه هوا خشک شدند. زمان خیساندن بذرها در محلول پرایم طی آزمایشی برای به‌دست آوردن مدت زمان و غلظت مناسب بدون اینکه تأثیر محدودکنندگی (سمیت عنصر) بر بذر داشته باشد و یا اینکه منجر به ظهور ریشه‌چه گردد، انتخاب شده بود.

در پایان، اقدام به کشت بذور به تعداد ۲۰ عدد دانه در هر گلدان گردید که پس از جوانه‌زنی به ۱۵ بوته تنک گردید. قطر هر گلدان ۲۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱/۵ سانتی‌متر بود، که با حجم هفت کیلوگرم از خاک مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام پر شدند، همچنین عمق کشت بذر بین دو تا سه سانتی‌متر و تاریخ کشت بذر ۲۹ تیرماه ۱۴۰۲ بود.

اعمال تنش از مرحله سه تا چهار برگی و پس از اطمینان از سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها آغاز و تا پایان مرحله رسیدگی (زمانی‌که حدود ۸۰-۷۰ درصد غلاف‌های لوبیا چشم‌بلبلی به رنگ زرد درآمدند) ادامه پیدا کرد. در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی برگ‌های پنج بوته به‌طور تصادفی در هر تیمار جدا و صفات وزن تازه و خشک بوته، سطح و وزن برگ و همچنین سرعت فتوسنتز و تعرق، رطوبت نسبی برگ و میزان نشت یونی اندازه‌گیری گردید.

جهت اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز و شدت تعرق، در هر بوته، برگ قبل از آخر انتخاب و درون اتاقک اندازه‌گیری دستگاه فتوسنتزمتر قرار گرفت، به‌طوری‌که سطح فوقانی برگ به طرف بالا باشد تا نور کافی دریافت کند. در نهایت داده‌های اصلی شدت تعرق براساس میلی‌مول H_2O بر مترمربع بر ثانیه ($mM\ H_2O.m^{-2}.S^{-1}$)و سرعت فتوسنتز براساس میکرومول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه ($\mu M\ CO_2.m^{-2}.S^{-1}$) با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر مدل kR8700 با میانگین‌گیری از سه قرائت گزارش گردید.

محتوای نسبی آب برگ (RWC[1]) به‌روش مارتینز و همکاران (Martinez et al., 2007) با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد. بدین صورت که بعد از پایان اعمال تنش کم‌آبی، جهت اندازه‌گیری در ساعت ۱۰ صبح از برگ‌ها نمونه‌برداری انجام گرفت، برگ‌های جداشده از هر بوته به‌طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده‌شدند و به‌سرعت به آزمایشگاه منتقل و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها جهت محاسبه وزن آماس‌یافته در آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و بدون نور غوطه‌ور شدند و پس از آن، نمونه‌ها به‌سرعت و با دقت با کاغذ صافی خشک و وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن‌خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار گرفت و پس از توزین، میزان عددی داده‌های وزن در معادله ۲ قرار داده شد و میزان رطوبت نسبی برگ محاسبه گردید.

معادله (۲)

$$WC = (FW - DW)/ (TW - DW) \times 100$$

که در آن، RWC: محتوای نسبی آب برگ، FW: وزن تر برگ، DW:وزن خشک برگ و TW: وزن آماس برگ می‌باشد.

برای تعیین نشت الکترولیت که در واقع معرف میزان پایداری غشا است از روش سنجش میزان نشت یونی والنتوویک و همکاران (Valentovic et al., 2006) و معادله ۳ استفاده شد و نشت الکترولیت به‌وسیله دستگاه ECمتر مدل (HI-98304) قرائت شد.

معادله (۳)

$$EL = EC1/ EC2 \times 100$$

که در آن، EL نشت یونی غشا، EC1: هدایت الکتریکی نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت و EC2: هدایت الکتریکی نمونه‌ها بعد از اتوکلاو است.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات کمَی وزن و سطح برگ، از هر گلدان تعداد پنج بوته انتخاب و برداشت شد، سپس وزن بخش هوایی اندازه‌گیری گردید و نمونه‌ها درون پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس درون آون گذاشته و بعد از خشک شدن توزین شدند.

برای اندازه‌گیری سطح برگ تمامی برگ‌ها از بوته جدا و بعد از شمارش و توزین برگ‌ها، سطح برگ آن‌ها با استفاده از دستگاه AREA METER CL-203 اندازه‌گیری شد.

پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به‌منظور تعیین عملکرد نهایی، هشت بوته از هر گلدان برداشت و اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه (گرم)، عملکرد دانه در گلدان و درصد شاخص برداشت (حاصل تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی) اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری‌شده توسط نرم‌افزار SAS 9.2 انجام گردید و در صورت معنی‌دارشدن اثر تیمار آزمون مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار انجام شد.

نتایج و بحث

سطح و وزن برگ

جدول ۲، خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده را تحت تأثیر تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل سطح و وزن برگ تحت تأثیر اعمال تیمارهای (اثرات ساده) تنش کم‌آبی، نوع رقم و پرایم با سولفات‌روی معنی‌دار گردید (جدول ۲).

براساس تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل رقم × پرایم فقط بر وزن برگ، اثر متقابل پرایم × تنش بر سطح و وزن برگ و اثر پرایم × تنش × رقم بر وزن برگ معنی‌دار گردید.

بیشترین مقدار سطح برگ در بوته (۱۴/۷) در تیمار پرایم با محلول ۰/۲۸ درصد سولفات‌روی و آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد و کمترین میزان آن (۶/۷۵) در شرایط هیدروپرایمینگ و آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (شکل ۱). در واقع، پرایمینگ بذر و همچنین آبیاری مطلوب موجب افزایش ۱۱۷ درصدی نسبت به شرایط شاهد در سطح برگ شد، با توجه به حساسیت بالای لوبیا به کمبود روی و همچنین خشکی (Ehlers & Hall, 1997) و داده‌های آزمون خاک (جدول ۱)، خاک این منطقه با کمبود روی شدید (۰/۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) مواجه بود، حد بحرانی روی در دامنه وسیعی از خاک‌های زیر کشت لوبیا در حدود ۱ تا ۱/۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک گزارش شده است (Sumner, 1999)، حد بحرانی، غلظتی از عنصر در خاک است که در

1- Relative Water Content

مقادیر کمتر از آن، احتمال پاسخ مثبت گیاه به مصرف عنصر زیاد می‌باشد، از عوامل تأثیرگذار بر حدود بحرانی روی می‌توان به اسیدیته خاک، آهک، فسفر و ماده آلی، اشاره نمود، این عوامل در خاک مورد بررسی منجر به کاهش روی در خاک کمتر از حد بحرانی شده است، و استفاده از پرایمینگ بذر با سولفات‌روی توانسته این کمبود را جبران کند. در گیاهان با کمبود روی، ریزبرگی به سبب عدم سنتز اکسین و متناوباً تجمع تریپتوفان و کاهش سنتز پروتئین و اسید آمینه اتفاق می‌افتد که این امر مرتبط با کاهش مقدار RNA و فعالیت بالای RNA آز در اثر کمبود روی است (Marschner, 1995). از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس سلول و کاهش بخش تعرق‌کننده گیاه می‌باشد که منجر به کندشدن سرعت جذب مواد غذایی می‌شود و رشد و توسعه سلول‌ها در اندام هوایی برگ و ساقه کم شده و ارتفاع و حجم اندام هوایی کاهش می‌یابد. براساس گزارش‌های منتشرشده، کاهش آب برگ منجر به کاهش فشار تورژسانس بافت برگ‌ها می‌شود و برگ‌ها شروع به پژمرده شدن می‌کنند (Wahyudi & Syukur, 2021)، همچنین کاهش تقسیم سلولی و کاهش هدایت روزنه‌ای یا بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و رشد گیاه را به همراه دارد که این‌ها از عوامل ثانویه کاهش سطح برگ قلمداد می‌شود (Nohong & Nompo, 2015).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1- Some of the physical and chemical properties of the experimental soil

عمق خاک (سانتی‌متر) Sampling depth (cm)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) ρ_b (g.cm^{-3})	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	روی (جزء در میلیون) Zinc (ppm)	فسفر (جزء در میلیون) Phosphorus (ppm)	گوگرد (جزء در میلیون) Sulfur (ppm)	پتاسیم قابل تبادل (جزء در میلیون) Exchangeable potassium (ppm)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	اسیدیته (پی‌اچ) Acidity (pH)
0-30	1.46	9	0.5	26	19	150	>0.5	7.98

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، پرایم بذر و تنش کم‌آبی روی برخی از صفات لوبیا چشم‌بلبلی

Table 2- Analysis of variance results of the effect of cultivar, seed prime and water deficit stress on some characteristics of cowpea

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: وزن خشک برگ Weight of leaf	سطح برگ Leaf area
بلوک Block	3	1.48**	0.44ns
تنش‌خشکی Drought stress	1	43.2**	70.76**
رقم Cultivar	1	12.3**	1.287ns
پرایم Prime	2	22.3**	168**
رقم × پرایم Cultivar × prime	2	2.7**	0.111ns
رقم × تنش‌خشکی Cultivar × drought stress	1	0.8ns	0.235ns
پرایم × تنش‌خشکی Prime × drought stress	2	3.78**	3.293*
پرایم × تنش‌خشکی × رقم Prime × drought stress × cultivar	2	0.2**	0.004ns
خطا Error	14	0.28	0.642
ضریب تغییرات CV (%)	-	12	7.12

**، * و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌داری می‌باشد

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively

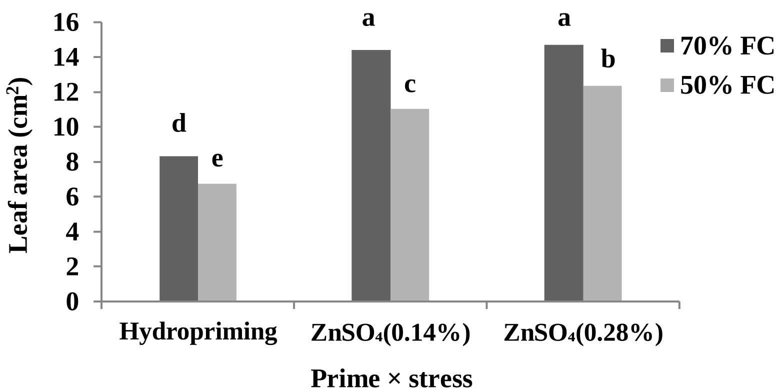
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای تنش کم‌آبی، پرایمینگ بذر و رقم‌های مختلف لوبیا چشم‌بلبلی بر برخی صفات کمَی

Table 3- Means comparison of effects of water deficit stress, seed priming and different cultivars of cowpea on some quantitative traits

تیمار Treatment	وزن صد دانه (گرم) 100-grain weight (g)	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	سرعت فتوسنتز (میکرومول دی اکسیدکربن در مترمربع بر ثانیه) photosynthesis rate (μMol $CO_2.m^{-2}.S^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
سطوح آبیاری Irrigation levels					
۷۰ درصد ظرفیت زراعی 70% field capacity	11 ns	7.20 ns	8.87 ns	6.07a	51.45 ns
۵۰ درصد ظرفیت زراعی 50% field capacity	10 ns	5.47 ns	5.66 ns	3.56 b	37.28 ns
رقم Cultivar					
مشهد Mashhad	12.1 ns	6.51 ns	6.99 ns	4.99 a	46.78 ns
محلی Indigenous	8.9 ns	6.16 ns	6.54 ns	4.65 b	41.95 ns
پرایمینگ بذر Seed priming					
هیدروپرایم Hydro priming	10.21 c	5.98 c	6.56 b	4.35 c	41.53 c
پرایم سطح ۱ Priming 1	10.55 b	6.03 b	6.78 a	4.73b	44.63 b
پرایم سطح ۲ Priming2	10.86 a	6.72 a	6.95 a	5.39 a	46.94 a

* میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability



شکل ۱- اثر متقابل تنش کم‌آبی و پرایم بذر بر سطح برگ در بوته لوبیا چشم‌بلبلی

Fig. 1- The interaction of water deficit stress and seed prime on the Leaf Area per plant in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

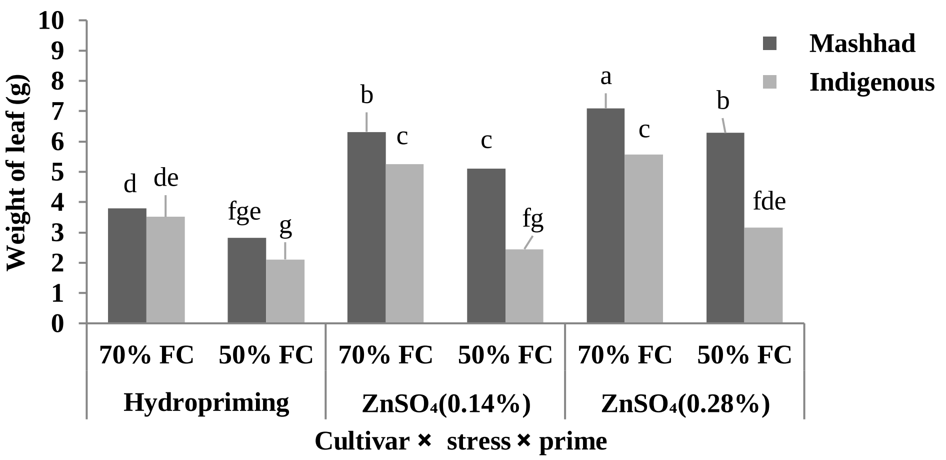
Columns with the same letter(s) are not significantly different at p≤0.05 probability level

به‌طور کلی، رقم مشهد دارای وزن برگ بیشتری نسبت به رقم محلی بود، در شرایط مشابه پرایم سطح ۲ و آبیاری مطلوب رقم مشهد دارای برتری ۲۳ درصدی نسبت به رقم محلی بود (شکل ۲). بیشترین وزن برگ (۷/۱ گرم) از اعمال تیمار آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، رقم مشهد و پرایم سطح ۲ و کمترین وزن برگ (۲/۱ گرم) از اعمال تیمار آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، رقم محلی و هیدروپرایمینگ حاصل شد (شکل ۲). همچنین در شرایط پرایمینگ بذر با عنصر روی، وزن برگ در هر دو رقم به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت، به‌طوری‌که پرایم سطح ۲ در رقم مشهد در شرایط آبیاری مطلوب، منجر به برتری ۶۵ درصدی نسبت به هیدروپرایمینگ (شاهد) شد و رقم محلی در شرایط مشابه دارای برتری ۵۸ درصدی نسبت به هیدروپرایمینگ (شاهد) بود. استفاده از عنصر روی به‌عنوان پرایم توانست تا حد زیادی اثر منفی کمبود آب را جبران کند (شکل ۲).

یکی از واکنش‌های گیاه در شرایط کمبود آب، کوتاه کردن دوره رشد و تسریع رسیدگی می‌باشد، در برخورد با تنش خشکی، گیاه میزان سطح و تعداد برگ‌های خود را کاهش می‌دهد و متعاقباً مواد فتوسنتزی نیز کاهش می‌یابد که در چنین شرایطی، کاهش وزن خشک برگ گیاه به دور از انتظار نمی‌باشد. در این راستا، محمدی البرزی و همکاران (alborzi et al., 2013) گزارش کردند زمانی‌که گیاه با خشکی مواجه می‌شود، از شاخ‌وبرگ خود که منابع اصلی تبخیر و تعرق در گیاه هستند، می‌کاهد و همچنین روزنه‌ها نیمه‌بسته یا بسته می‌گردد که این موضوع موجب کاهش جذب کربن دی‌اکسید شده و در نتیجه، این امر سبب کاهش مواد فتوسنتزی شده و به دنبال آن با کاهش مواد فتوسنتزی، وزن خشک برگ و ساقه کاهش می‌یابد. گزارش‌های متعددی مبنی بر افزایش وزن خشک برگ در اثر استفاده از عنصر روی ارائه شده است. ابراهیمیان و بایبوردی (Ebrahimian & Bybordi, 2011) اظهار داشتند که کاربرد روی در گیاه آفتابگردان *Helianthus* (*annuus*) باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه شد که این بهبود در اندام‌های رویشی در نهایت منجر به بهبود صفات مربوط به عملکرد گردید. همچنین بروسکلی و میچارلد (Borowski & Michalek, 2011) اظهار داشتند که کاربرد دو عنصر روی و آهن، میزان کلروفیل را در برگ‌های لوبیا افزایش می‌دهد، لذا با کاربرد این دو عنصر، میزان تولید آسیمیلات‌ها افزایش یافته و در نتیجه آن، وزن خشک بخش‌های مختلف گیاه افزایش می‌یابد. همچنین گزارش شده است که در حضور عنصر روی همراه بذر، سنتز هورمون‌ها از جمله اکسین افزایش می‌یابد (Cakmak, 2008). بنابراین به نظر می‌رسد که افزایش اکسین بذر همراه با میزان روی بالا باعث بهبود رشد و در نتیجه آن، افزایش وزن خشک می‌شود.

صفات فیزیولوژیک

اثرات ساده تیمارها (تنش، رقم و پرایم) به‌جز تأثیر پرایم بر شدت تعرق که معنی‌دار نگردید بر سایر صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری‌شده شامل محتوای نسبی آب برگ، شدت تعرق، سرعت فتوسنتز و نشت الکترولیت معنی‌دار گردید (جدول ۴).



شکل ۲- اثر متقابل رقم، تنش کم‌آبی و پرایم بذر بر وزن برگ در بوته لوبیا چشم بلبلی

Fig. 2- The interaction of water deficit stress and seed prime on the Weight of leaf per plant in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p\leq0.05$ probability level

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، پرایم روی و تنش کم‌آبی روی برخی از صفات فیزیولوژیک لوبیا چشم بلبلی

Table 4- Analysis of variance results of the effect of cultivar, zinc priming and water deficit stress on some Physiological characteristics of cowpea

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		شدت تعرق Transpiration rate	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	نشت الکترولیت Electrical leakage
بلوک Block	3	0.02ns	0.03ns	9.1ns	11.2ns
تنش‌خشکی Drought stress	1	5.93**	75.60**	440**	4760**
رقم Cultivar	1	0.39**	1.36**	30ns	168**
پرایم Prime	2	0.041ns	4.42**	3.6**	139**
رقم × پرایم Cultivar × prime	2	0.01 ns	0.012ns	2.33ns	1.93ns
رقم × تنش‌خشکی Cultivar × drought stress	1	0.11**	0.0006ns	5.33ns	0.33ns
پرایم × تنش‌خشکی Prime × drought stress	2	0.029ns	0.202ns	105**	27.52**
پرایم × تنش‌خشکی × رقم Prime × drought stress × cultivar	2	0.007ns	0.237ns	17ns	7.89ns
خطا Error	14	0.01	0.11	8.27	3.58
ضریب تغییرات CV (%)	-	10	7	5	5

**، * و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌داری می‌باشد

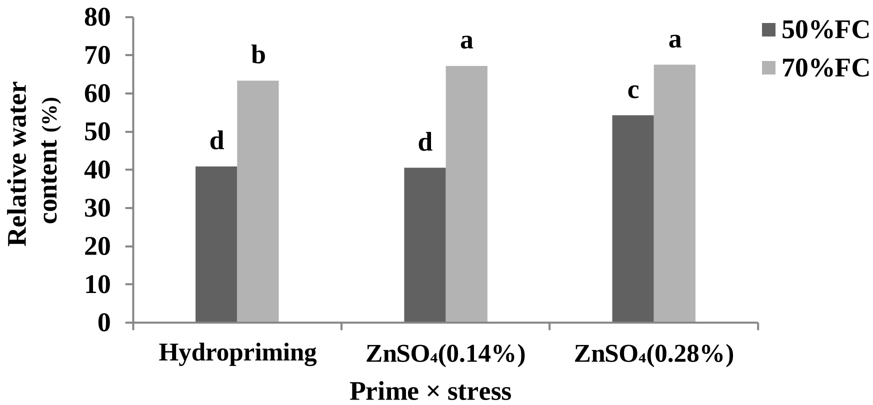
**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively.

رقم مشهد از سرعت فتوسنتز بالاتری نسبت به رقم محلی برخوردار بود، به‌طوری‌که در شرایط مشابه، سرعت فتوسنتز رقم مشـــهد دارای برتری هفت درصـدی نسـبت به رقم محلی بود. اعمال کم‌آبیاری تا ۵۰ درصـــد ظرفیت زراعی منجر به کاهش ۷۰ درصـدی سـرعت فتوسـنتز نسـبت به آبیاری مطلوب شـد. همچنین اعمال پرایم سطح دو موجب افزایش سرعت فتوسنتز تا ۲۳ درصد نسبت به شرایط شاهد گردید (جدول ۳). سرعت فتوســـنتز تحت تأثیر اثرات متقابل دو و ســـه‌گانه تیمارها قرار نگرفت کاهش فعالیت‌های بیوشـیمیایی فتوسـنتزی تحت تنش خشـــکی به‌دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه، کاهش مقدار گازکربنیک در کلروپلاسـت اسـت (Wu et al., 2008). به نظر می‌رسد که با کاهش سطح برگ از یک طرف و بسته شدن روزنه‌ها ناشـــی از تنش خشـــکی و نیز کاهش فعالیت‌های پروتوپلاسـمی و تثبیت گازکربنیک، شـرایطی برای کاهش سـنتز پروتئین و کلروفیل فراهم می‌شـــود که خود باعث تقلیل فرایند فتوسنتز می‌شود (Jaleel et al., 2009). اگرچه بسته شدن روزنه ها از طریق کاهش اتلاف آب گیاه می‌تواند در تحمل به خشکی مؤثر باشـد، ولی بسـته شـدن روزنه‌ها در شـرایط تنش خشـکی موجب افزایش دمای برگ و کاهش فتوسـنتز می‌گردد (Singh et al., 2012). از طرفی، میزان کلروفیل در گیـاهـان یکی از مهم‌ترین عوامل حفظ ظرفیت فتوســـنتزی به‌شـــمار می‌رود. همچنین عنصـــر روی در راه‌اندازی برخی از آنزیم‌های مســـیر بیوسـنتز کلروفیل و نیز برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسـیدان مانند آسکوربات پروکسـیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن نقش اساسی دارد (Malakoti & Tehrani, 2000).

اثر متقابل رقم × تنش بر شـدت تعرق و اثر متقابل پرایم × تنش بر نشـــت الکترولیت و محتوای نســـبی آب معنی‌دار بود

(جدول ۴). آبیاری مطلوب و پرایمینگ بذر با سولفات‌روی، محتوای نسبی آب برگ را تا ۶۵ درصد نسبت به شرایط شاهد (اعمال تنش کم‌آبی و هیدروپرایمینگ) بهبود بخشید (شکل ۳). محتوای نسبی آب بالاتر می‌تواند مسئول بقا هدایت روزنه ای و در نتیجه، تعرق و فتوسنتز بالاتر در تیمارها شود. عبدشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2015) در لوبیا، کاهش محتوای آب نسبی را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. به‌طور کلی، بین محتوای نسبی آب برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که با کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش، محتوای نسبی آب برگ هم کاهش خواهد یافت. عنصر روی نقش مهمی در میزان باز بودن روزنه‌ها دارد، به این دلیل که این عنصر در نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه نقش دارد و از طریق کاهش تلفات آب برگ باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ می‌شود (Weisany et al., 2011).

قنبری و همکاران (Ghanbarı & Rao, 2013) نیز کاهش محتوای پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه را در گیاهانی که با روی تیمار نشده بودند مشاهده نمودند، در صورت عدم مصرف عنصر روی یکپارچگی غشا کاهش یافته و محتوای آب برگ کاهش می‌یابد. در آزمایشی روی آفتابگردان نیز تیمارهایی که سولفات‌روی بیشتری دریافت کرده بودند، از محتوای آب نسبی برگ بالاتری برخوردار بودند (Weisany et al., 2011).



شکل ۳- اثر متقابل تنش کم‌آبی و پرایم بذر بر محتوای نسبی آب برگ لوبیا چشم بلبلی

Fig. 3- The interaction of water deficit stress & seed prime on Relative Water Content in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level

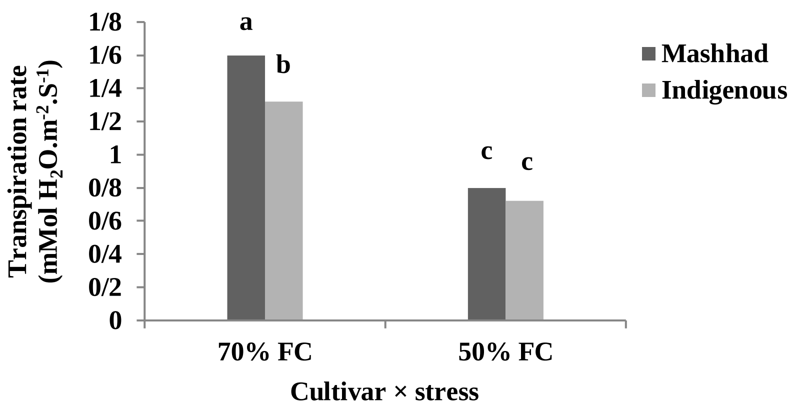
شکل ۴، شدت تعرق برگ تحت تأثیر رقم و تنش کمبود آب را نشان می‌دهد. بیشترین میزان تعرق تحت شرایط آبیاری مطلوب در رقم مشهد مشاهده شد که نسبت به رقم محلی و شرایط کم‌آبیاری ۶۵ درصد بیشتر بود (شکل ۴). گزارش شده است که طی کمبود آب به‌علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای، سرعت تبادل گازی کاهش یافته و سبب کاهش سرعت تعرق می‌شود (Tatrai et al., 2016). همچنین با کاهش پتانسیل آماسی در برگ، اسید آبسیزیک[1] در ریشه سنتز و به برگ‌ها ارسال می‌شود، اسید آبسیزیک تولیدی سبب بسته شدن روزنه‌ها به‌هنگام کم‌آبی می‌شود تا از تعرق جلوگیری کند، در واقع کاهش میزان تعرق در شرایط تنش خشکی از طریق بسته شدن روزنه‌ها به کمک اسیدآبسیزیک می‌تواند به‌عنوان سازوکاری برای حفظ آب برگ و جلوگیری از هدر رفتن آن طی تنش خشکی بیان شود (Zhu et al., 2002).

کمترین (۴۶ درصد) و بیشترین (۴۹ درصد) درصد نشت الکترولیت تحت اعمال تنش، به‌ترتیب در پرایم سطح ۲ و هیدروپرایمینگ حاصل گردید (شکل ۵). همچنین اثر متقابل آبیاری مطلوب و پرایمینگ سطح ۲ توانست میزان نشت الکترولیت را نسبت به شرایط شاهد (کم‌آبیاری و هیدروپرامینگ) تا ۵۳ درصد کاهش دهد. مدت زمان و شدت تنشی که گیاه تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد در میزان آسیبی که به غشا سلولی وارد می‌شود، موثر است. تحت شرایط کمبود آب، غشا سلولی پایداری خود را از دست‌داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی، مواد محلول از سلول‌های آن به

[1]- Abscisic acid

بیرون تراوش می‌کند، لذا پایداری غشا به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن ارزیابی می‌شود (Munjonji et al., 2017).

نتایج نشان داد که افزایش شدت و مدت زمانی که گیاه در معرض کمبود آب قرار دارد باعث ایجاد اختلال شدیدتر در فعالیت‌های زیستی غشا سلولی، کاهش سیالیت آن و غیرفعال‌سازی یا کاهش سرعت پمپ شدن یون‌های غشایی می‌شود، بنابراین بر میزان نشت یون‌ها نیز افزوده گردید. تنش خشکی، تغییراتی را در فسفولیپیدهای غشا ایجاد می‌کند و اسیدهای چرب غیراشباع افزایش می‌یابند. در تنش‌های شدید، بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دو لایه‌ای غشا، حالت شش وجهی پیدا کرده و ساختار غشا به ساختار منفذدار تبدیل می‌شود و نشت مواد رخ می‌دهد. به‌طور کلی، تنش خشکی باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نهایت، کاهش شاخص پایداری غشا سلول در گیاهان مختلف می‌شود (Munjonji et al., 2017). صدمات غشایی ناشی از اکسیداسیون لیپیدهای غشایی در حضور رادیکال‌های آزاد حاصل می‌شود (Wahyudi & Syukur, 2021). بر این اساس، تعادل بین رادیکال‌های آزاد تولیدی و دفاع در برابر این رادیکال‌های آزاد تعیین‌کننده بقا سیستم گیاهی می‌باشد. عناصر روی و آهن از طریق افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان در تعدیل رادیکال‌های آزاد و اثرات تخریبی آن‌ها در سیستم‌های غشایی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Zago & Oteiza, 2001). لذا بر این اساس، به نظر می‌رسد که کاربرد پرایمینگ سولفات‌روی با افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی (از طریق افزایش تولید آنزیم‌های حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد) باعث شد که گیاه دیرتر با شرایط تنش مواجه گردد و در نتیجه، درصد نشت کمتری داشته باشد.

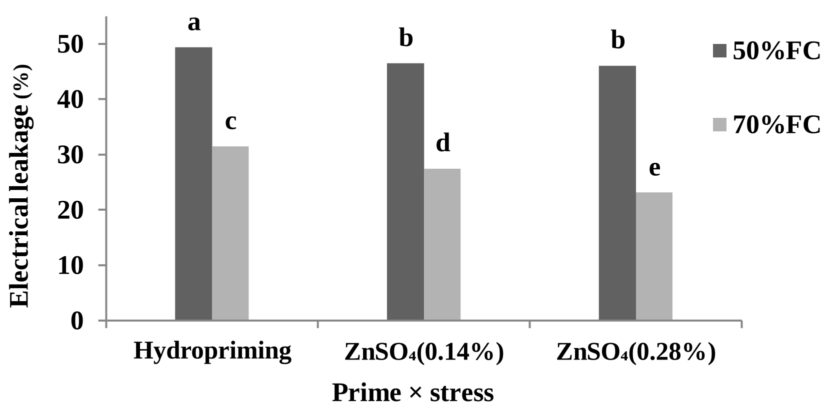


شکل ۴- اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر شدت تعرق در گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 4- The interaction of water deficit stress & cultivar on Transpiration rate in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level



شکل ۵- اثر متقابل تنش کم‌آبی و پرایم بذر بر درصد نشت الکترولیت در گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 5- The interaction of water deficit stress & seed prime on Electrical Leakage in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level

عملکرد و اجزای عملکرد

مطابق جدول ۵، اثرات اصـــلی عامل‌های آزمایش (تنش، رقم و پرایم) بر صـفات عملکرد و اجزای عملکرد (تعداد غلاف و تعداد دلنه در بوته، تعداد دلنه در غلاف، وزن ۱۰۰ دلنه و عملکرد دلنه در گلدان) و نیز شـاخص برداشـت در سطح احتمال آماری یک درصــد معنی‌دار گردید. برهم‌کنش رقم × پرایم بر هیچ‌کدام از صفات ذکرشده معنی‌دار نشد (جدول ۵). اثر متقابل رقم × تنش به‌جز شاخص برداشت اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد داشـت (جدول ۵). از بین صـفات اندازه‌گیری‌شـده، فقط دو صـــفت تعداد دلنه در بوته و عملکرد دلنه به‌طور معنی‌داری متأثر از اثر متقابل پرایم و تنش بودند. اثر سه‌گانه پرایم × تنش × رقم تأثیر معنی‌داری بر صـــفات اندازه‌گیری شـــده نداشـــت (جدول ۵).

طبق جدول مقایسـه میانگین اثرات سـاده (جدول۳) پرایم سـطح ۲ منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته، دلنه در غلاف، وزن ۱۰۰ دلنه و شـاخص برداشـت نسـبت به هیدرو پرایمینگ گردید. افزایش تعداد غلاف در بوته در اثر اسـتفاده از روی اثبات شـــده، تغذیه گیاه با ســـولفات روی به‌دلیل افزایش ذخیره هیدروکربن دلنه گرده، باعث افزایش طول عمر دلنه گرده شـده، در نتیجه منجر به افزایش تلقیح و تشـکیل تعداد بیشـتر دلنه در غلاف می‌گردد، کـه در نهـایـت منجر بـه افزایش تمـامی شـــاخص‌های مرتبط با اجزای عملکرد در لوبیا خواهد شـــد (Saeidi Aboueshaghi & Yadavi, 2015). همچنین بیان شده است که عنصر روی از طریق افزایش سطح برگ، وزن خشـک و طول دوره گل‌دهی، باعث افزایش تعداد غلاف در گیاه می‌شـود. عنصـــر روی نقش مهمی در ســـنتز تریپتوفان دارد، تریپتوفان، آمینو اسید لازم برای سـنتز اکسـین می‌باشـد، که موجب افزایش ارتفاع و تعداد گـره در سـاقه می‌شود.کاربرد روی سبب افزایش تعداد گره در ساقه، افزایش تعداد شاخه‌های جـانبی در ساقه و در نهایت تعداد غلاف در بوتـــــه می‌شـــود. از طرف دیگر، این عنصر در ساختمان فسفو اینول پیرووات کربوکســیلاز نیز نقش اســـاســـی دارد و به این ترتیب در حضـــور عنصـــر روی توان فتوســـنتزی و در نتیجه میزان کربوهیدرات‌های گیاه افزایش می‌یابد (Thalooth et al., 2006). قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2013) بیان داشـتند که با توجه به نقش اسـاسـی عنصر روی در گیاه کـه به‌طور مستقیم در بیوسنتز مواد رشد هماننـد اکسـین دخالـت دارد، بنابراین می‌تواند سلول‌های گیاهی بیشتر و در نتیجه، مواد خشـــک بیشـــتری را تولید و در دانه به‌عنوان مخزن ذخیره نمایـــــد که موجب افزایش عملکرد بیش از حد انتظار می‌گردد. ایشان گزارش کردند که عنصر روی در افزایش غلظت کلروفیل و افـزایش جذب نیتروژن و فسفر نقش داشته و از ایـن طریـق نیز باعـث افزایش عملکرد می‌شود.

بیشـترین تعداد غلاف در بوته در رقم مشـهد تحت شـرایط آبیاری با۷۰ درصــد ظرفیت زراعی حاصــل شــد که برتری ۳۱ درصـــدی نســبت به رقم محلی و با اعمال آبیاری ۵۰ درصـــد ظرفیت زراعی داشت (شکل ۶).

در واقع هنگام کمبود آب، تعداد زیادی از گل‌هایی که توانایی تبدیل شـدن به غلاف را داشـته‌اند، از بین رفته و تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابند. سـایر تحقیقات نیز کاهش تعداد غلاف در بوته را تحت تنش خشـــکی ناشـــی از ریزش اندام‌های زایشـــی از جمله گل‌ها و نیام‌ها دانســـتند. پتانســـیل و توانایی حبوبات در تشکیل جوانه‌های گل‌ها و غلاف‌ها بسیار بالا است، امّا دســـتیابی به این پتانســیل مســتلزم وجود شــرایط محیطی مناسب است. در شـرایط تنش رطوبتی به‌دلیل پسـابیده شـدن دلنه‌های گرده و پژمردگی کلاله، رشـــد لوله‌های گرده متوقف شـــده و در نتیجـه، تعداد غلاف در بوتـه کـاهش می‌یـابـد (Mazengo & Tryphone, 2019) همـچـنـیـن نـتـایـج تـجـزیـه واریانس نشـان داد که بین ارقام لوبیا چشـم‌بلبلی مورد بررسـی برای تمامی صـــفات مربوط به عملکرد در دو شـــرایط آبیاری مطلوب و آبیاری محدود اختلاف معنی‌داری وجود داشـت و رقم مشـــهد دارای عملکرد بالاتری بود که نشـــان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکـی در بین دو رقم مورد بررسی می‌باشد.

براساس نتایج حاصل از شکل ۷، تعداد دانه در غلاف رقم مشـــهد در شـــرایط آبیاری مطلوب دارای برتری ۱۱ درصـــدی نســـبت‌به رقم محلی بود، که با کاهش آبیاری تا ۵۰ درصـــد ظرفیت زراعی، ۳۸ درصد (تقریبا به‌صورت یکسان) از تعداد دانه در غلاف در هر دو رقم کاهش یافت (شکل ۷).

در واقع در شـرایط تنش خشـکی و با کاهش پتانسـیل آبی گیاه، سـرعت رشـد گیاه به‌دلیل افزایش شـدت تنفس و کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد که به تبع کم شدن فتوسنتز، تعداد دانه نیز کـاهش خواهد یافت. در مطالعه‌ای در بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش در نخود، تنش خشـکی به‌تنهایی ۴۵ درصـد کاهش عملکرد دلنه در غلاف را موجب شـــد (Amiri et al., 2015). طبق بررسـی ژوو (Zhu, 2002) کمبود مواد قابل انتقال بر اثر تنش خشـکی در مرحله رویشی و زایشی باعث سـقط دانه در غلاف شـد. در هر گیاه زراعی، عملکرد دانه یا به عبارت بهتر عملکرد اقتصادی، نتیجه برآیند همه فعالیت‌های بیوشـیمیایی و فیزیولوژیکی از زمان سـبز شـدن تا بلوغ فیزیولوژیکی و تأثیرات متقابل این فرآیندها با محیط اســت، در شـــرایط کم‌آبی کلیه فعالیت‌های بیوشـــیمیایی و فیزیولوژیک گیاه تحت تأثیر قرار

خواهند گرفت که در نهایت، منجر به کاهش فتوسنتز و در نتیجه، کاهش عملکرد خواهد شد.

طبق نتایج حاصل از مقایسات میانگین در شکل ۸ تحت شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، رقم مشهد از برتری ۱۸ درصدی تعداد دانه در بوته نسبت به رقم محلی برخوردار بود که با کاهش آبیاری تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، تعداد دانه در بوته در رقم مشهد ۴۸ درصد و در رقم محلی ۴۰ درصد کاهش یافت (شکل ۸). در شرایط تنش خشکی، گیاه برای بقا خود تلاش می‌کند تا با افزایش طول ریشه به آب بیشتر و عمیق‌تر خاک دسترسی پیدا کند، بنابراین مواد فتوسنتزی بیشتری به‌سمت ریشه رفته و صرف توسعه ریشه شده و وزن و تعداد دانه در بوته کاهش می‌یابد (Amiri et al., 2015). به دنبال کاهش تعداد دانه در غلاف در شرایط کم‌آبی که مربوط به اختلال در فرآیندهای بیوشیمیایی و فتوسنتزی بود، کاهش دانه در بوته بدیهی می‌باشد، و با کم شدن شدت تنش و آبیاری مطلوب، با افزایش تولید کلروپلاست و میزان فتوسنتز سبب تولید محصول بیشتر و در نهایت، افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی می‌گردد.

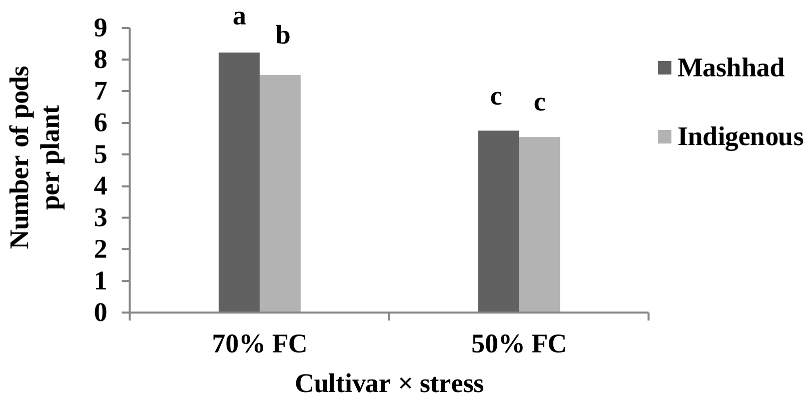
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تاثیر رقم، پرایم روی و تنش‌کم‌آبی بر صفات مربوط به عملکرد لوبیا چشم بلبلی

Table 5. Analysis of variance results of the effect of cultivar, zinc priming and water deficit stress on yield characteristics of cowpea

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن صد دانه 100-grain weight	تعداد دانه در بوته Number of seeds per pod	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه در گلدان Grain yield in pot
		میانگین مربعات (Mean square)					
بلوک Block	3	0.09*	58.4*	0.9*	0.02ns	2.7ns	23.1*
تنش‌خشکی Drought stress	1	12.30**	8031**	35.8**	58.52**	2411**	1191**
رقم Cultivar	1	116.25**	382.3**	1.50**	2.43**	279**	3164**
پرایم Prime	2	1.72**	237.8**	2.18**	0.58**	118**	123**
رقم × پرایم Cultivar × prime	2	0.026 ns	3.93ns	0.02ns	0.19ns	2.62 ns	0.66ns
رقم × تنش‌خشکی Cultivar × drought stress	1	0.091*	178.6**	0.58*	0.80**	0.01 ns	229**
پرایم × تنش‌خشکی Prime × drought stress	2	0.005ns	52.7**	0.22ns	0.09ns	1.40 ns	24.8**
پرایم × تنش‌خشکی × رقم Prime × drought stress × cultivar	2	0.004ns	3.44ns	0.01ns	0.16ns	0.65 ns	0.14ns
خطا Error	14	0.016	8.70	0.10	0.06	2.64	3.31
ضریب تغییرات CV (%)	-	1.2	6.7	5.1	3.7	3.6	7.65

**، * و ns: به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی داری می باشد

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively

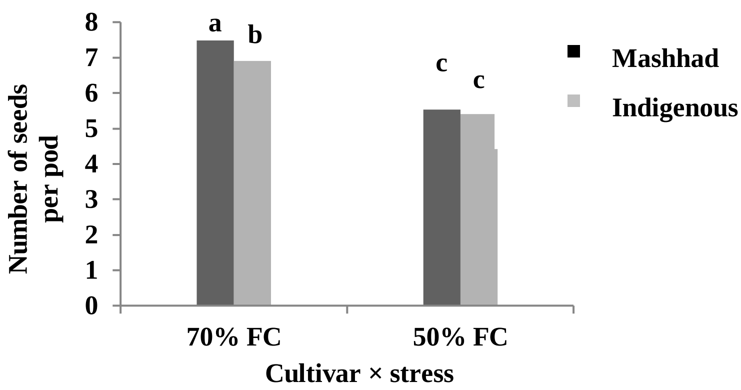


شکل ۶- اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر تعداد غلاف در بوته در گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 6- The interaction of water deficit stress & cultivar on number of pods per plant in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSDدر سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level

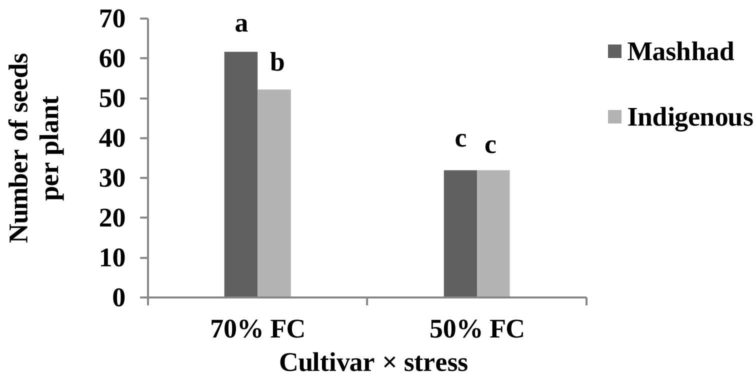


شکل ۷- اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر تعداد دانه در غلاف گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 7- The interaction of water deficit stress and cultivar on number of seeds per pod in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level



شکل ۸- اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر تعداد دانه در بوته گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 8- The interaction of water deficit stress & Cultivar on Number of seeds per plant in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

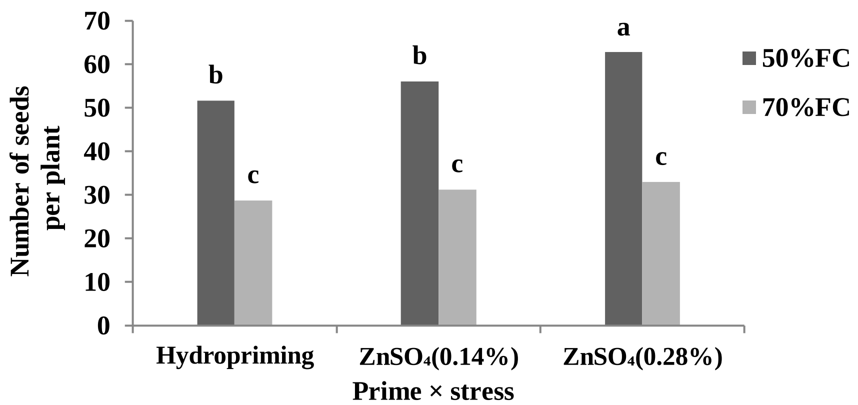
Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level

بیشترین تعداد دانه در بوته (شکل ۹) در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و پرایم سطح ۲ حاصل شد که نسبت به آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و هیدروپرایمینگ افزایش ۵۵ درصدی مشاهده شد. در مطالعه‌ای روی لوبیا نیز مشاهده شد که کاربرد عنصر روی باعث افزایش عملکرد دانه شده است (Wahyudi & Syukur, 2021). کاهش دسترسی به آب و برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه، متابولیسم گیاه را نیز تغییر می‌دهد. افزایش تعداد دانه در واکنش به مصرف عنصر روی می‌تواند به‌دلیل نقش این عنصر در تقسیمات سلولی و همچنین نقش کلیدی عنصر روی در تشکیل دانه، به‌دلیل تأثیر بر فرآیندهای زایشی و ماده‌سازی باشد (Mohsin et al., 2014) به‌صورت کلی، عنصر روی در تشکیل بیشتر میوه و دانه و فعال کردن آنزیم کربونیک آنهیدراز نقش اساسی دارد. بدیهی است که در حضور این عنصر، سنتز کربوهیدرات‌ها در گیاه در سطح بالاتری صورت می‌گیرد و باعث افزایش عملکرد می‌گردد (Cakmak, 2008).

بیشترین میزان عملکرد دانه در گلدان (شکل ۱۰)، در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و پرایم سطح ۲ حاصل شد که نسبت به آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و هیدروپرایمینگ افزایش ۶۱ درصدی را منجر شد.

بر اثر کمبود آب، رشد و توسعه گیاه کاهش می‌یابد که منجر به اختلال در گل‌دهی، پر شدن دانه‌ها و در نتیجه، عملکرد کمتر گیاه می‌شود. کمبود آب در مرحله گل‌دهی باعث افزایش سقط جنین در دانه گرده می‌شود و از طریق افزایش آبسزیک اسید و کاهش شدت فتوسنتز باعث کاهش بارگیری آسیمیلات‌ها شده که در نهایت، با ریزش گل‌ها و غلاف‌ها، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Zadehbagheri & Sharafzadeh, 2012). از طرفی، پرایمینگ بذر با سولفات‌روی (پرایم سطح ۲) در شرایط کمبود آب توانست عملکرد دانه در گلدان را ۱۵ درصد افزایش دهد. با توجه به اینکه عنصر روی در گیاه به‌طور مستقیم در بیوسنتز مواد مؤثر بر رشد همانند اکسین دخالت دارد، بنابراین دردسترس‌بودن عنصر روی موجب رشد و توسعه بیشتر گیاه و در نتیجه، تولید ماده خشک بیشتر و ذخیره آن‌ها در دانه‌ها به‌عنوان مخزن می‌گردد، بنابراین فهمیدن این نکته، ساده به نظر می‌رسد که کاربرد روی سبب افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش (۱۸ درصد) و عدم تنش (۲۲ درصد) گردید. همان‌طور که در نتایج قبلی مشاهده شد کمبود این عنصر با تأثیر بر فتوسنتز، تشکیل دانه و قدرت حیات آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

رقم مشهد در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین عملکرد دانه در گلدان را منجر شد که با کاهش میزان آبیاری به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تا ۵۲/۸ درصد کاهش داشت (شکل ۱۱). همچنین رقم مشهد نسبت به رقم محلی چه در شرایط کم‌آبیاری (برتری ۳۰/۳ درصدی) و چه در شرایط آبیاری مطلوب (برتری ۳۶/۸ درصدی) دارای عملکرد دانه بهتری نسبت به رقم محلی بود که طبق سایر نتایج قبلی در فتوسنتز، نشت الکترولیت و تعداد دانه در گلدان، این برتری دور از ذهن نمی‌باشد. با توجه به اینکه حفظ پتانسیل عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به‌عنوان یک معیار فیزیولوژیک مقاومت به تنش خشکی در نظرگرفت، لذا به نظر می‌رسد که ارقام با درصد کاهش بالا و پایین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب به‌عنوان ارقام حساس و مقاوم به تنش مطرح شوند (Ahmadi et al., 2009).

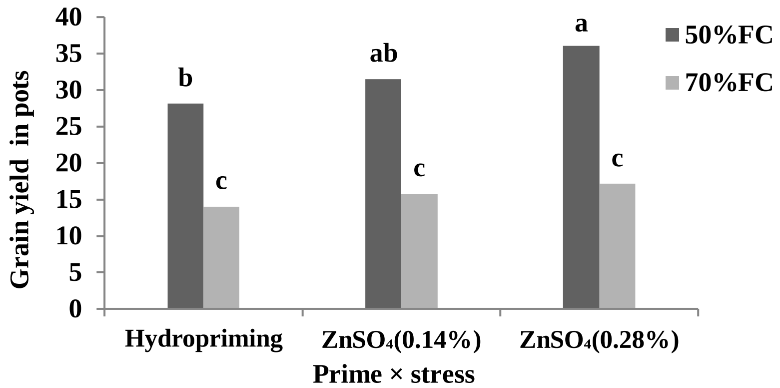


شکل ۹- اثر متقابل پرایم بذر و تنش کم‌آبی بر تعداد دانه در بوته گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 9- The interaction of seed prime & water deficit stress on Number of seeds per plant in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level

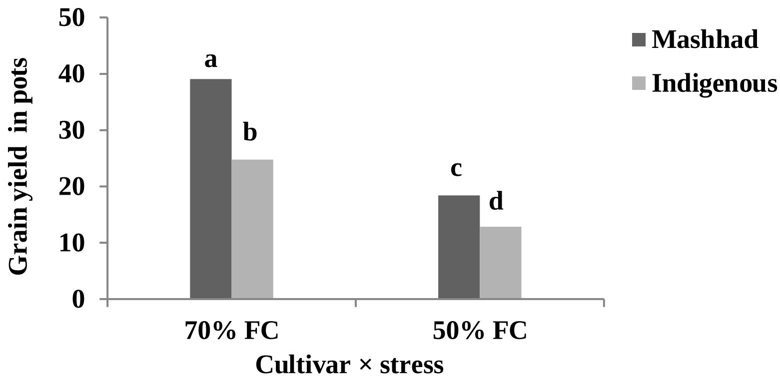


شکل ۱۰- اثر متقابل پرایم بذر و تنش کم آبی بر عملکرد دانه در گلدان گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 10- The interaction of seed prime & water deficit stress on Grain yield in pots in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level



شکل ۱۱- اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر عملکرد دانه در گلدان گیاه لوبیا چشم بلبلی

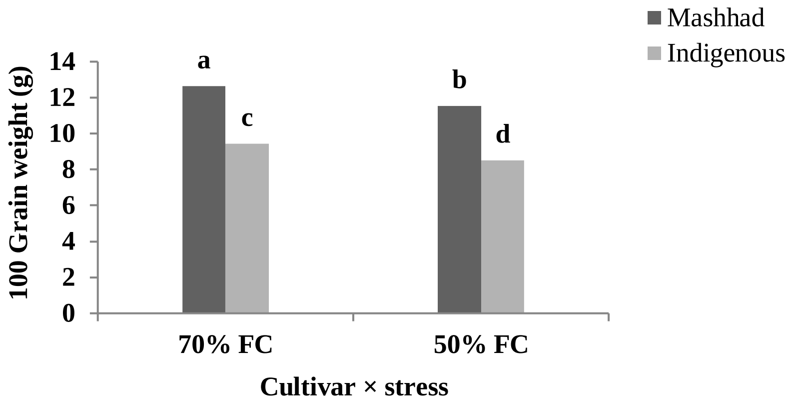
Fig. 11- The interaction of water deficit stress & Cultivar on Grain yield in pots in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ probability level

با توجه به شکل ۱۲، به‌صورت کلی رقم مشهد دارای وزن ۱۰۰ دانه بیشتری نسبت به رقم محلی بود که با کاهش میزان آب مصرفی، وزن ۱۰۰ دانه در هر دو رقم کاهش داشت. بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و رقم مشهد به دست آمد، که نسبت به رقم محلی در شرایط آبیاری مشابه دارای برتری ۲۵/۲۸ درصدی می‌باشد (شکل ۱۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی مورد بررسی برای تمامی صفات مربوط به عملکرد در دو شرایط آبیاری مطلوب و کاهش آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود دارد که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشد. هانتر و همکاران (Hunter et al., 2004) گزارش کردند که صفات مورفوفیزیولوژیکی که دارای توارث‌پذیری بالا هستند، در افزایش عملکرد، مهم محسوب می‌شوند. مطالعه وزن ۱۰۰ دانه در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی نشان‌داد که تنوع برای این صفت در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی وجود داشت.

استفاده از رقم مشهد در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به تولید بیشترین شاخص برداشت (۵۳/۸ درصد) گردید، در مقابل کمترین شاخص برداشت (۳۴/۸) مربوط به رقم محلی و اعمال کم‌آبی تا سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود در واقع رقم مشهد در شرایط آبیاری مطلوب دارای برتری ۳۵/۳ درصدی شاخص برداشت نسبت به رقم محلی و تنش خشکی بود (شکل ۱۳).

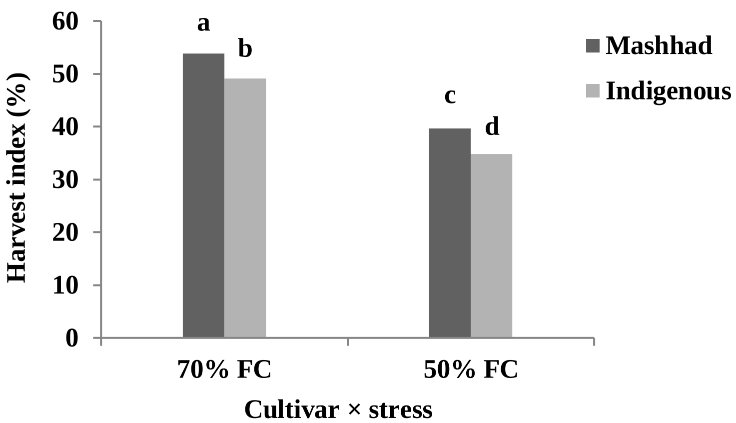


شکل ۱۲- اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر وزن ۱۰۰ دانه گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 12- The interaction of water deficit stress and cultivar on 100 grain weight in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at p≤0.05 probability level



شکل ۱۳- اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر شاخص برداشت گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 13- The interaction of water deficit stress &Cultivar on Harvest index in cowpea

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشند.

Columns with the same letter(s) are not significantly different at p≤0.05 probability level

ازآن‌جایی‌که پارامتر شاخص برداشت نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی را نشان می‌دهد، بنابراین کاهش شاخص برداشت در اثر کمبود آب ناشی از کاهش وزن ۱۰۰ دانه می‌باشد که در بررسی‌های قبلی نیز برتری وزن دانه رقم مشهد نسبت به رقم محلی مشاهده شد. طبق گزارش رامیرز و کلی (Ramirez & Kelly, 1998)، تنش خشکی متوسط تا شدید می‌تواند زیست‌توده، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد روز تا رسیدگی، شاخص برداشت، عملکرد دانه و وزن دانه لوبیا را کاهش دهد. کاهش شاخص برداشت در اثر کمبود آب می‌تواند به‌دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده و کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتزشده در مرحله پر شدن دانه‌ها باشد، علاوه‌بر تجمع ماده خشک، تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های مختلف گیاه نیز مهم است. کمبود آب در طی رشد و گل‌دهی باعث می‌شود که بخش بیشتری از مواد فتوسنتزشده صرف ریشه‌ها شده تا آب بیشتری برای گیاه تأمین نماید، بنابراین در چنین شرایطی شاخص برداشت کاهش خواهد یافت (Amiri et al., 2015).

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که کمبود آب تا حد زیادی توانست عملکرد گیاه را کاهش دهد، امّا در این میان رقم مشهد دارای مقاومت بیشتری نسبت به رقم محلی بود و توانست چه در شرایط کاهش آب آبیاری چه در شرایط آبیاری مطلوب، عملکرد بالاتری نسبت به رقم محلی نشان دهد، از طرفی پرایمینگ

بذور با سولفات‌روی توانست تا حدی اثرات نامطلوب کمبود آب را تعدیل کند، پرایم سطح ۲ (پرایم با محلول ۰/۲۸ درصد سولفات‌روی) نسبت به شاهد و پرایم سطح ۱ توانست منجر به بیشترین میزان فتوسنتز، بیشترین میزان وزن ۱۰۰ دانه و همچنین شاخص برداشت شود. بنابراین استفاده از رقم مناسب تحت اعمال پرایم بذر با روی می‌توانند در کاهش اثرات کمبود آب، افزایش تولید و بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه مؤثر باشد.

References

Abdolshahi, R., Nazari, M., Safarian, A., Sadathossini, T., Salarpour, M., & Amiri, H. (2015). Integrated selection criteria for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programs using discriminant analysis. *Field Crops Research*, *174*, 20-29. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.01.009

Ahmadi, A., Jodi, M., Tavakoli, A., & Ranjbar, M. (2009). Investigation of yield and its related morphological traits responses in wheat genotypes under drought stress and irrigation conditions. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *12*(46), 155-165. (In Persian with English Abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1387.12.46.14.3

Alborzi, M., Safikhani, F., MASOUD, S. J., Abbaszadeh, B., & Zadeh, A. (2013). The effect of drought stress on dry mather yield and essential oils of anisum (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, *2*(4), 285-291. (In Persian)

Amiri, A., Yadolahi, P., & Esmaeilzadeh, S. (2015). Effect of drought stress and chitosan and salicylic spray on morphological parameters of *Carthamus tinctorius* L. in Sistan. *Journal of Oil Plants Production*, *2*(1), 43-56. (In Persian with English Abstract). http://yujs.yu.ac.ir/jopp/article-1-45-en.html

Barzegari, M., Emam, Y., & Zamani, A. (2020). Yield components and grain yield responses of four wheat cultivars to growth retardant Cycocel under terminal drought stress conditions. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *10*(3), 139-156. (In Persian with English Abstract). http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.10.3.20124

Borowski, E., & Michalek, S. (2011). The effect of foliar fertilization of French bean with iron salts and urea on some physiological processes in plants relative to iron uptake and translocation in leaves. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, *10*(2), 183-193. https://bibliotekanauki.pl/articles/11542046.pdf

Boukar, O., Togola, A., Chamarthi, S., Belko, N., Ishikawa, H., Suzuki, K., & Fatokun, C. (2019). Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*, *7*, 201. https://www.researchgate.net/publication/336354732_Cowpea_Vigna_unguiculata_L_Walp_Breeding

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, *302*, 1-17. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3

Cheraghi Tabar, E. A. a. H. R. O. (2018). Distribution of zinc fractions in some calcareous soils of mahidashtand helilan plains of Kermanshah and Ilam provinces. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, *22*, 12. (In Persian with English Abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1397.22.4.3.8

Davoudpour, Y., Schmidt, M., Calabrese, F., Richnow, H. H., Musat, N., & Musat, N. (2020). High resolution microscopy to evaluate the efficiency of surface sterilization of *Zea mays* seeds. *Plos One*, *15*(11), e0242247. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294203

Ebrahimian, E., & Bybordi, A. (2011). Effect of iron foliar fertilization on growth, seed and oil yield of sunflower grown under different irrigation regimes. *Middle East Journal of Scientific Research*, *9*(5),621-625.

Ehlers, J., & Hall, A. (1997). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. walp.). *Field Crops Research*, *53*(1-3), 187-204. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00031-2

FAO, (2022). FAOSTAT Rome. [(accessed on 17 December 2021)]. Available online: https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL.

Farooq, M., Ullah, A., Rehman, A., Nawaz, A., Nadeem, A., Wakeel, A., Nadeem, F., & Siddique, K. H. (2018). Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddled transplanted production systems. *Field Crops Research*, *216*, 53-62. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.004

Fracasso, A., Telo, L., Lanfranco, L., Bonfante, P., & Amaducci, S. (2020). Physiological beneficial effect of *Rhizophagus intraradices* inoculation on tomato plant yield under water deficit conditions. *Agronomy*, *10*(1), 71. https://doi.org/10.3390/agronomy10010071

Frahm, M. A., Rosas, J. C., Mayek-Pérez, N., López-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J. A., & Kelly, J. D. (2004). Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, *136*, 223-232. https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000030678.12073.a9

Frota, K., Gonvalves, M., Lopes, L. A. R., Silva, I. C. V., & Areas, J. A. G. (2017). Nutritional quality of the protein of Vigna unguiculata L. Walp and its protein isolate. *Revista Ciência Agronômica, 48*(5spe), 792-798. https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170092

Gardner, W. (1968). Availability and measurement of soil water. *Water Deficits and Plant Growth*, *1*(22 may), 107-135.

Ghanbarı, A. A., & Rao, I. (2013). Effects of water stress on leaves and seeds of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, *18*(1), 73-77. https://www.researchgate.net/publication/286218430_Effects_of_water_stress_on_leaves_and_seeds_of_bean_Phaseolus_vulgaris_L

Ghanbari Zarmehri, S., Moosavi, S. G., Zabihi, H. R., & Seghateslami, M. J. (2013). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and zinc fertilizer on forage yield of maize under water deficit stress conditions. *Journal of Applied Science, Engineering and Technology, 3*(23), 3281-3290.

Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., Yunas, M., & Yunas, M. (2008). 'On-farm'seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. *Plant and Soil*, *306*, 3-10. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9465-4

Hunter, D. A., Ferrante, A., Vernieri, P., & Reid, M. S. (2004). Role of abscisic acid in perianth senescence of daffodil (*Narcissus pseudonarcissus* "Dutch Master"). *Physiologia Plantarum, 121*(2), 313-321. https://doi.org/10.1111/j.0031-9317.2004.0311.x

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition., *International Journal of Agriculture and Biology, 11*(1), 100-105.

Kakaei, M. (2024). The Effect of planting density and supplementary irrigation on the agricultural traits of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in dry conditions. *Iranian Journal Pulses Research, 15*(2), 129-139. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83555.1062

Kroner, N., Kotlarski, S., Fischer, E., Lüthi, D., Zubler, E., & Schär, C. (2017). Separating climate change signals into thermodynamic, lapse-rate and circulation effects: Theory and application to the European summer climate. *Climate Dynamics, 48*, 3425-3440.

Malakoti, M., & Tehrani, M. (2000). The role of micronutrients on yield and qualify increasing of crops: Tabiat Modares University Press, 328 p.(In Persian).

Makkizadeh Tafti, M., Tavakol Afshari, R., Majnoon Hosseini, N., & Naghdi Badi, H. A. (2008). Evaluation of salinity tolerance and absorption of salt by borage (*Borago officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *24*(3), 253-262. (In Persian).

Mansouri Daneshvar, M. R., & Ebrahimi, M. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, *8*(1), 1-10. https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3

Marschner, H. (1995). Nutrition of higher plants. *Nutrition of Higher Plants*, *4*(1), 375-288.

Martinez, J. P., Silva, H., Ledent, J. F., & Pinto, M. (2007). Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, *26*(1), 30-38. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.08.003

Mazengo, K. D., & Tryphone, G. M. (2019). Response of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to drought for growth and yield characteristics in the southern highlands of Tanzania. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, *4*(3), 643-651. http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/4.3.8

Merwad, A. R. M., Desoky, E. S. M., & Rady, M. M. (2018). Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae, 228*, 132-144. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.008

Mohsin, A. U., Ahmad, A. U. H., Farooq, M., & Ullah, S. (2014). Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, *24*(5), 1494-1503. https://www.thejaps.org.pk/docs/v-24-5/29.pdf

Munjonji, L., Ayisi, K. K., Boeckx, P., & Haesaert, G. (2017). Stomatal behavior of cowpea genotypes grown under varying moisture levels. *Sustainability*, *10*(1), 12. https://doi.org/10.3390/su10010012

Munoz Perea, C. G., Terán, H., Allen, R. G., Wright, J. L., Westermann, D. T., & Singh, S. P. (2006). Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science*, *46*(5), 2111-2120. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.01.0029

Nohong, B., & Nompo, S. (2015). Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, *9*(5), 14-22. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20153342076

Posmyk, M., & Janas, K. (2007). Effects of seed hydropriming in presence of exogenous proline on chilling injury limitation in *Vigna radiata* L. seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum, 29*, 509-517. https://doi.org/10.1007/s11738-007-0061-2

Prasad, A. S. (1984, October). Discovery and importance of zinc in human nutrition. In *Federation Proceedings*, *43*(13), 2829-2834.

Ramirez-Vallejo, P., & Kelly, J. D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*, *99*, 127-136.

Rezaei, H., Saadat, S., Mirkhani, R., Bagheri, Y. R., Esmaeelnejad, L., Nouri Hosseini, M., Baybordi, A., karimi, A., Sedri, M., & Hamedi, F. (2022). The state of soil organic carbon in agricultural lands of Iran with different agroecological conditions. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 102*(16), 4623-4639. https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1786547

Sabzi, S., Tahmasebi, Z., & Barari, M. (2017). Study of the yield and some important plant of common bean (Phaseolus vulgaris) genotypes at different moisture levels. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*(1), 21-30. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/escs.1396.528

Saeidi Aboueshaghi, R., & Yadavi, A. (2015). Effects of irrigation levels and foliar application with iron and zinc on quantitative and qualitative traits of red bean (Phaseolous vulgaris L. *Iranian Journal Pulses Research*, *6*(1), 54-65.(In Persian with English Abstract).https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i1.49008

Singh, H. P., Kaur, G., Batish, D. R., Kumar, R. K., & Batish, D. (2012). Growth, photosynthetic activity and oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum*) after exposure of lead to soil. *Journal of Environmental Biology, 33*(2), 265.

Sumner, M. E. (1999). *Handbook of Soil Science*: CRC Press, 2148 pp.

Tandon, P. (1996). Effect of zinc and iron supply on production potential of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science, 176*(3), 213-216. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1996.tb00465.x

Tatrai, Z. A., Sanoubar, R., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2016). Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. *International Journal of Agronomy, 2016*(1), 4165750. https://doi.org/10.1155/2016/4165750

Thalooth, A., Tawfik, M., & Mohamed, H. M. (2006). A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, *2*(1), 37-46.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., Gasparikova, O., & Kolarovic, L. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment*, *52*(4), 184. https://doi.org/10.17221/3364-PSE

Wahyudi, A., & Syukur, M. (2021). Multi-location evaluation of yield component character and proximate analysis of cowpea grown in Lampung province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 22*(10), 4246-4253. https://doi.org/10.13057/biodiv/d221015

Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A., & Ghassemi-Golezani, K. (2011). Physiological responses of soybean ('*Glycine max*' L.) To zinc application under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(11), 1441-1447.

Wu, F., Bao, W., Li, F., & Wu, N. (2008). Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of Sophora davidii seedlings. *Photosynthetica*, *46*, 40-48.

Zadehbagheri, M., & Sharafzadeh, S. (2012). Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotype. *African Journal of Agricultural Research, 7*(42), 5661-5670. https://doi.org/10.5897/AJAR10.901

Zago, M. P., & Oteiza, P. I. (2001). The antioxidant properties of zinc: Interactions with iron and antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, *31*(2), 266-274. https://doi.org/10.1016/S0891-5849(01)00583-4

Zhu. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology, 53*(1), 247-273. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329

Zhu, Kimbal, B., Cheng, L., Kobayashi, K., & Bindi, M. (2002). Responses of agricultural crops to free-air CO2enrichment. *Yingyong Shengtai Xuebao*, *13*, 1323-1338. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77017-X